

Vamos a generar electricidad con una máquina síncrona

1. Placa de características

Las placas de características de ambas máquinas contienen los principales valores nominales. En ellas aparecen las características de alimentación (tensión y corriente; la síncrona incluye también la frecuencia), la potencia útil (que se convierte en energía mecánica si es un motor o en eléctrica si es un generador) y la velocidad en rev/min.

Inspecciona la caja de conexiones de ambas máquinas y copia sus placas de características.

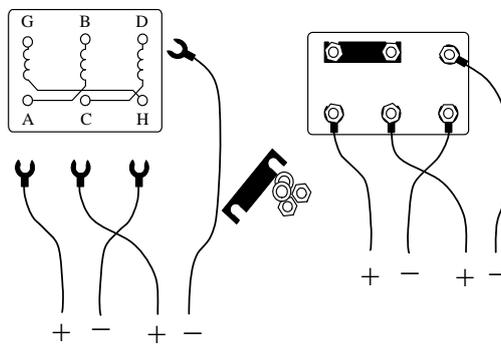


Fig. 1. Caja de conexiones de la máquina de continua de excitación derivación

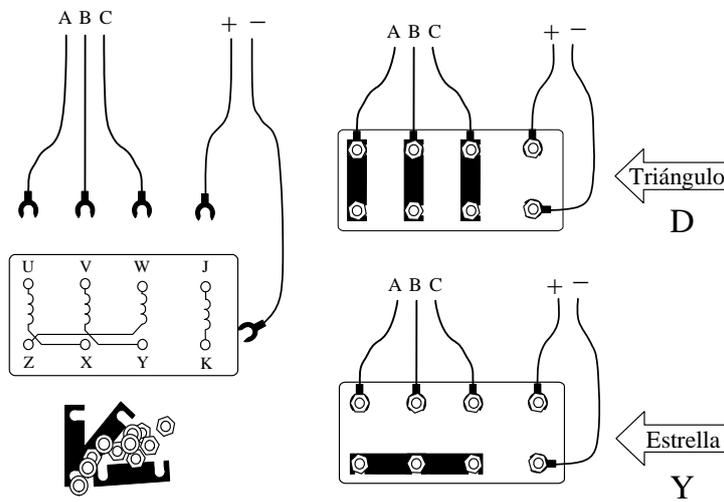


Fig. 2. Caja de conexiones de la máquina síncrona

MOTOR DE CONTINUA		
Fabricante:	Tipo:	Excitación:
$P_N =$ kW = CV	$U_N =$ V	$I_N =$ A
$U_{e,N} =$ V	$I_{e,N} =$ A	$\omega_N =$ rev/min = rad/s

Recuerda que $1 \text{ CV} = 736 \text{ W}$ y que el resto de valores nominales se calculan, en el caso de un motor de continua, como

$$\eta_N = \frac{P_{\text{util},N}}{P_{\text{abs},N}} = \frac{P_N}{U_N I_N} \quad , \quad \Gamma_N = P_N / \omega_N$$

Así, estos valores serán

$\eta_N =$	%	$\Gamma_N =$	Nm
------------	---	--------------	----

GENERADOR SÍNCRONO		
Fabricante:	Tipo:	Conexión actual:
$S_N =$ kVA	$U_N \text{ (D/Y)} =$ / V	$U_{e,N} =$ V
$I_{e,N} =$ A	$\omega_N = \omega_s' =$ rev/min = rad/s	$f_N =$ Hz

Tal como está conectada la máquina síncrona (estrella o triángulo), ¿cuál es su tensión de funcionamiento?

$$U_N = \text{-----} \text{ V}$$

El resto de valores nominales se calculan, en el caso de un generador síncrono, como

$$I_N = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_N} \quad , \quad \omega_s = 2\pi f_N = p\omega_N = p\omega_s'$$

El número de pares de polos se determina al comparar (en las mismas unidades: rev/min o rad/s) la velocidad nominal (igual a la velocidad síncrona: $\omega_N = \omega_s'$) con la pulsación de las corrientes del estator (ω_s). En el caso de $f_N = 50\text{Hz}$, resulta $\omega_s = 3000 \text{ rev/min} = 314.16 \text{ rad/s}$. Completa la siguiente tabla en función de la velocidad nominal de la máquina.

$\omega_N = \omega_s'$	3000 rev/min	1500 rev/min	1000 rev/min		
p	1	2	3	4	5

Así, estos valores serán

$I_N \text{ (D/Y)} =$ / A	$\omega_s =$ rev/min = rad/s	$p =$ pares de polos
---------------------------	------------------------------	----------------------

2. Máquina de continua

En la máquina de continua de excitación independiente los devanados del inducido (o rotor) y de excitación (o estator) son independientes y por tanto se pueden alimentar con tensiones distintas, Fig. 3a.

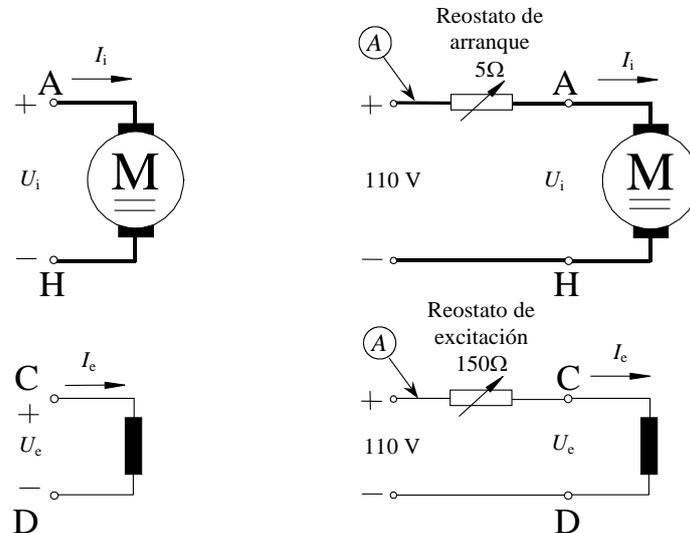


Fig. 3. a) Representación de los devanados de inducido y excitación. b) Conexión de la máquina de continua

La velocidad de la máquina de continua se puede expresar como

$$\omega_m = \frac{U_i - R_i I_i}{K_\phi \phi} \approx \frac{U_i}{K_\phi \phi} = \frac{U_i}{M I_e}$$

Esta expresión muestra los dos métodos que existen para regular su velocidad: (1) variando la tensión del inducido, U_i , (2) variando el flujo ϕ (es decir, variando la intensidad de excitación I_e o la tensión de excitación U_e).

Si queremos variar la velocidad de la máquina mediante el primer método (es decir, variando la tensión del inducido), existen dos posibilidades (ver Fig. 3b):

- variando la tensión de alimentación: en nuestro caso no se puede hacer pues en el laboratorio disponemos de 110 V constantes,
- colocando resistencias en serie con el inducido: tampoco es posible porque las resistencias disponibles son de valor reducido (5 Ω). Tenemos otras resistencias mayores (150 Ω y 300 Ω), pero son de potencia inferior a la que se disiparía en régimen permanente.

Por lo tanto, deberemos variar la velocidad de la máquina con el segundo método (es decir, variando el flujo, o la excitación), utilizando para ello el reostato de excitación.

Cada vez que se arranca la máquina se debe tener la precaución de que el reostato de arranque esté en la posición de abierto antes de dar la tensión –pues se haría un arranque directo y la intensidad de arranque es muy elevada– y al finalizar el arranque debe quedar cortocircuitado. Además, se debe observar que el reostato de excitación no esté en la posición de máxima resistencia –pues se embalaría la máquina–.

Cada vez que se arranque la máquina de continua, el reostato de arranque deberá estar en la posición de abierto. Al finalizar el transitorio de arranque el reostato debe estar en la posición de mínima resistencia

PROCEDIMIENTO DE ARRANQUE	PROCEDIMIENTO DE PARO
1. Antes de aplicar tensión, asegúrate de que el reostato de arranque está en la posición "arranque" y de que el reostato de excitación está en la posición de máxima intensidad o mínima resistencia (lo cual significa máximo flujo, para evitar que la máquina se embale).	1. Desconecta la alimentación de la máquina (inducido y excitación) con el pulsador del pupitre.
2. Aplica tensión al circuito mediante el pulsador del pupitre (el motor no girará).	2. Cuando la máquina no gire, coloca el reostato de arranque en la posición "arranque", preparado para el próximo arranque.
3. Gira el volante del reostato de arranque hasta la primera posición (este primer salto se debe dar con decisión. En caso contrario, se producirá un chisporroteo en el contacto. Para ello coge el volante con una mano y el cuerpo del reostato con la otra; aunque es preferible entre dos personas, una de ellas coge el volante con las dos manos y la otra el cuerpo del reostato con las dos manos).	
4. Mientras que la máquina se embala, elimina progresivamente el reostato de arranque, llevándolo hacia la posición "marcha".	

Conecta la máquina de continua como se muestra en la Fig. 3b. Ambos devanados se alimentan de la fuente de continua de 110 V no regulable. Arranca la máquina teniendo en cuenta las precauciones indicadas. Mide la corriente de excitación necesaria para alcanzar cada velocidad de la siguiente tabla, y representa los resultados en la Fig. 4. **Cuando acabes, desconecta la alimentación, pero no quites los cables de alimentación de la máquina de continua, porque la utilizaremos como motor para mover la máquina síncrona.**

I_e (A)				
ω_m (rev/min)	1450	1500	1600	1700

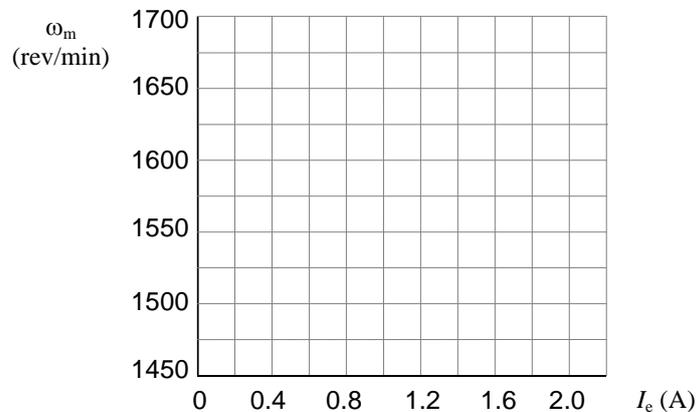


Fig. 4. Variación de la velocidad de la máquina de continua con la excitación

3. Máquina síncrona

La tensión generada por la máquina síncrona es alterna y se caracteriza por su valor eficaz y frecuencia. El valor eficaz (aproximado) de la tensión generada por la máquina, Fig. 5a, y su frecuencia se pueden expresar como

$$U_L \approx \sqrt{3} \cdot K_\phi \phi \omega_m = \sqrt{3} \cdot K_e I_e \omega_m = \sqrt{3} \cdot K_e I_e \omega_s = K I_e$$

$$f_s = \frac{p \omega_m}{2\pi}$$

Estando la máquina de continua parada y sin tensión (**aunque recuerda que no debes quitar los cables de alimentación de la máquina de continua**), conecta la excitación de la máquina síncrona a la fuente de 110 V no regulable. Conecta el estator en estrella de la máquina síncrona a un polo del interruptor trifásico, como se indica en la Fig. 5b.

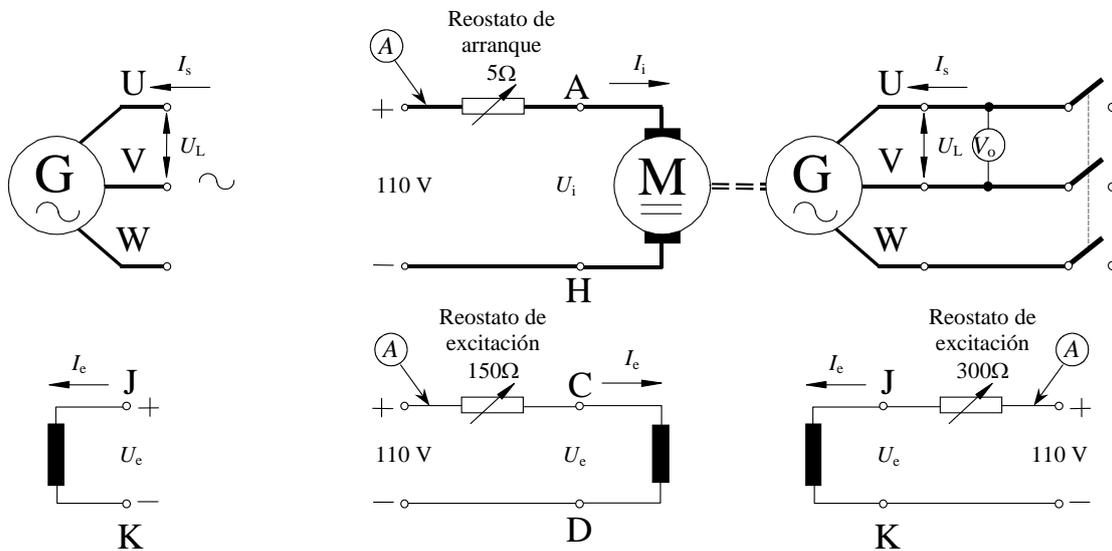


Fig. 5. a) Representación de la máquina. b) Conexión de la máquina síncrona y conexión de la máquina de continua para arrastrarla

¿Cuál es la velocidad nominal de la máquina síncrona?

$\omega_N = \dots \dots \dots$ rev/min

Arranca la máquina de continua (con las precauciones indicadas en el apartado anterior) y llévala a la velocidad nominal de la máquina síncrona. Sin modificar esta velocidad, rellena la siguiente tabla.

I_e (A)					
$U_{L,o}$ (V)	130	160	190	220	250

¿Cuál será la frecuencia de la tensión inducida $U_{L,o}$?

$f_s = \dots \dots \dots$ Hz

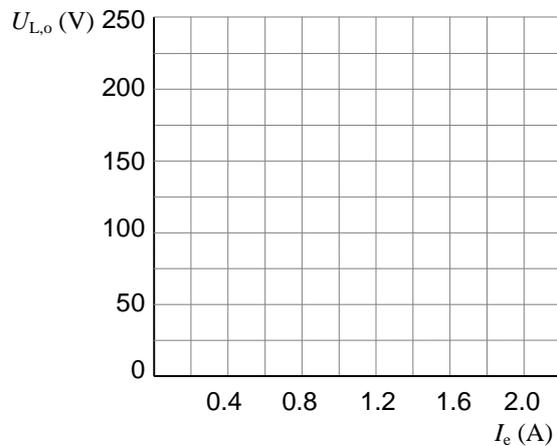


Fig. 6. Característica de vacío de la máquina síncrona

Representa los valores de la tabla anterior en la gráfica de la Fig. 6.

4. Conexión de la máquina síncrona a la red

Para estar en condiciones de conectar la máquina síncrona a la red hace falta que su tensión y frecuencia sean lo más parecidas posible a las de la red. Para ello, se tienen que cumplir tres condiciones:

- Igual frecuencia a la de la red. ¿Qué harías para conseguirlo y porqué?

- Igual tensión que la red. ¿Qué harías para conseguirlo y porqué?

- Igual fase de las tensiones.

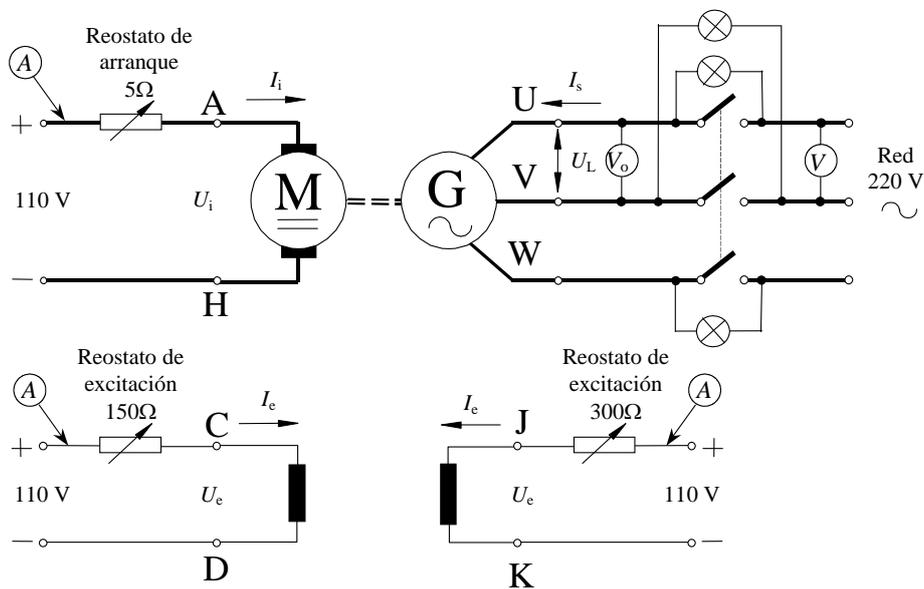


Fig. 7. Acoplamiento a la red del conjunto máquina de continua-generator síncrono

Conecta el otro polo del interruptor trifásico a la red de corriente alterna de 220 V del pupitre y coloca las bombillas como se indica en la Fig. 7. Para evitar que se fundan las bombillas, se comenzará con los tres cables de red conectados pero sin accionar el pulsador del pupitre que los une a la red de corriente alterna de 220 V. Realiza el siguiente proceso.

- Arranca la máquina de continua y, variando su excitación, llévala a la velocidad nominal de la máquina síncrona. Teniendo en cuenta la Fig. 4, ¿qué intensidad de excitación se necesita en la máquina de continua?

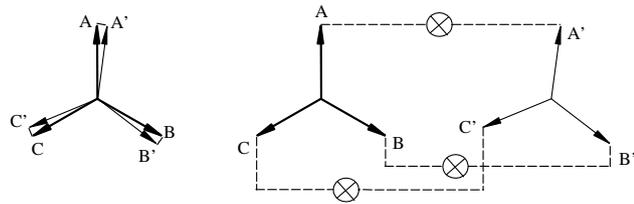
$$I_{e, \text{máq. continua}} = \dots\dots\dots \text{ A}$$

- Sin accionar todavía el pulsador de red del pupitre, varía la excitación de la máquina síncrona hasta que su tensión de vacío sea la nominal de la red (220 V). Ahora ya puedes conectar el pulsador de red. Ajusta la excitación de la máquina síncrona hasta que su tensión de vacío sea igual a la real de la red (que no será exactamente 220 V). Te darás cuenta cuando los dos volímetros (V y V_0) marquen igual. Teniendo en cuenta la Fig. 6, ¿qué intensidad de excitación se necesita en la máquina síncrona?

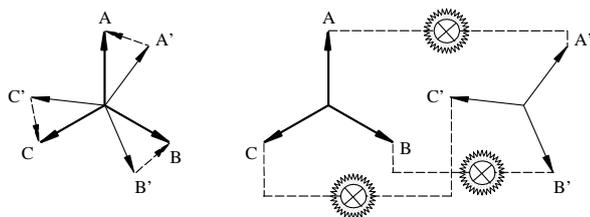
$$I_{e, \text{máq. síncrona}} = \dots\dots\dots \text{ A}$$

- En este punto, las bombillas deben encenderse y apagarse siguiendo una cadencia muy lenta (Fig. 8a-b). Si se encienden y apagan con mucha rapidez es porque la velocidad de giro de la estrella de tensiones de nuestro generador es muy diferente de la de la red (es decir, sus frecuencias son diferentes). En este caso, hará falta ajustar la velocidad de nuestra estrella.
- Si las tres bombillas se encienden y apagan a la vez, la secuencia es la misma (Fig. 8a-b). Si se encienden dos de ellas y la tercera está apagada, la secuencia está mal (Fig. 8c-d), en cuyo caso hará falta permutar dos de los tres cables trifásicos en nuestro generador o en la red.
- Cuando las tres bombillas estén apagadas a la vez las fases de las tensiones serán iguales (Fig. 8a). En ese instante cerraremos el interruptor.

Secuencias iguales y desfase nulo



Secuencias iguales y desfase no nulo



Secuencias diferentes

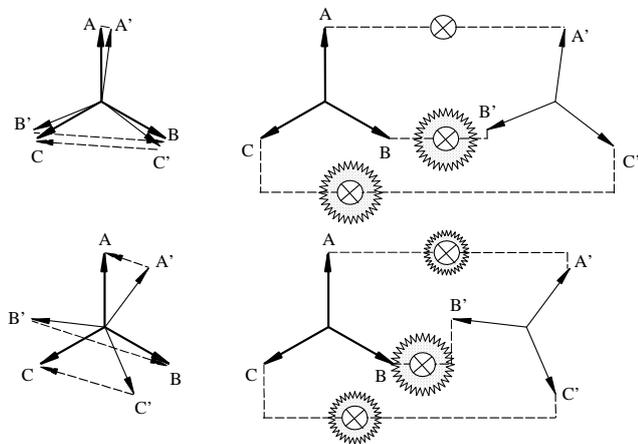


Fig. 8. Encendido de las bombillas en estrellas de a) igual secuencia y desfase nulo, b) igual secuencia y desfase no nulo, c) y d) diferente secuencia

Ya tenemos la máquina síncrona conectada a la red: podemos intercambiar potencia activa y reactiva con ella e invertir la forma de funcionamiento del conjunto máquina de continua-máquina síncrona. **Aunque no lo vamos a hacer en esta práctica:**

- Si le quitamos excitación a la máquina de continua, de forma que tienda a aumentar su velocidad, la máquina síncrona pasará a suministrar potencia activa a la red.
- Si desconectamos el inducido de la máquina de continua ($I_i = 0$ A), su par se anulará también. Sin embargo, la máquina síncrona seguirá girando: pasará de funcionar como generador a funcionar como motor, consumiendo potencia activa (en realidad, muy poca potencia activa: la correspondiente a las pérdidas). La máquina síncrona arrastrará a la máquina de continua, que ahora funcionará en vacío (no funcionará ni como motor ni como generador).
- Si conectamos el inducido de la máquina de continua a una carga (en lugar de dejarlo en vacío), la máquina de continua funcionará como generador, entregando potencia a esta carga. Ahora sí que consumirá mucha potencia activa la máquina síncrona. Esta potencia se convertirá en potencia mecánica (descontando las pérdidas), la cual pasará a través del eje a la máquina de continua. Si te das cuenta, hemos invertido el proceso original, en el que era la máquina de continua la que funcionaba como motor y movía la máquina síncrona, que funcionaba como generador.